

NIOBATE DE LITHIUM PERIODIQUEMENT POLARISE A COURTE PERIODE ET PERSPECTIVES D'APPLICATION

Pascal Baldi¹, Marc De Micheli¹, Emmanuel Quillier¹, Laurent Guilbert²,
Jean-Paul Salvestrini² et Sorin Tascu³

¹ Laboratoire de Physique de la Matière Condensée, UMR 6622, Université de Nice-Sophia
Antipolis, Parc Valrose, 06108 Nice Cedex 2, France

² Laboratoire Matériaux Optiques, Photonique et Systèmes, Université Paul Verlaine et Supélec,
2 rue E. Belin 57070 Metz, France

³ RAMTECH, University of Iasi, Faculty of Physics, Department of Physics, Bulevardul Carol I,
Nr. 11, 700506 Iasi, Romania

Pascal.Baldi@unice.fr

RÉSUMÉ

Le niobate de lithium périodiquement polarisé (PPLN) sur des périodes courantes de 6 à 22 μm trouve actuellement de nombreuses applications en optique non linéaire (ONL). La micro-structuration à plus courte période, c'est-à-dire de 2,5 μm à 300 nm, permettrait de nouvelles fonctionnalités, non seulement en ONL mais aussi en électro-optique. Les problèmes technologiques posés par ce défi sont présentés, ainsi que quelques exemples d'applications.

MOTS-CLEFS : *Niobate de lithium polarisé périodiquement (PPLN) ; Optique intégrée ; Optique non linéaire ; Effet électrooptique.*

1. INTRODUCTION

Les matériaux optiques non linéaires polarisés périodiquement permettent aujourd'hui d'obtenir des interactions paramétriques du deuxième ordre ($\chi^{(2)}$) co-propagatives efficaces à toute longueur d'onde grâce à la technique du quasi-accord de phase (QAP) [1]. Les applications sont nombreuses : amplificateurs (OPA) et oscillateurs (OPO) paramétriques optiques [2, 3], convertisseurs de signal par différence de fréquences (DFG) [4], sources de photons corrélés (SPDC) pour les communications quantiques [5]... Bien que la proposition théorique du QAP remonte aux débuts de l'optique non linéaire [1], les problèmes technologiques ont longtemps limité cette approche. Ce n'est qu'à la fin des années 1980 que l'inversion de domaines dans les matériaux ferroélectriques a permis l'utilisation pratique du QAP [6]. Depuis, celle-ci n'a cessé de s'accroître, rendant possible une véritable ingénierie de la réponse optique non linéaire.

Les interactions contra-propagatives (le signal (s) ou l'idler (i) se propageant en sens opposé de la pompe) ont été envisagées très tôt, avec pour motivation initiale l'espoir de réaliser un OPO sans miroir [7]. Mais la différence des vecteurs d'onde étant beaucoup plus grande que dans le cas co-propagatif, l'accord de phase par biréfringence n'est possible que pour $\lambda_i \gg \lambda_s$ (donc loin de la dégénérescence). Ainsi la seule réalisation expérimentale reportée à ce jour utilisait du Sodium Nitrite et présentait une efficacité de conversion très faible tant en DFG [8] qu'en SPDC [9].

Or le QAP permet théoriquement de compenser la forte différence des vecteurs d'onde, à condition d'utiliser des structures à très courte période. De nombreux articles théoriques sont apparus durant les années 1990 et 2000, mettant en évidence l'intérêt du contra-propagatif pour les OPA [10], le traitement tout-optique des signaux télécoms [11], la génération d'impulsions optiques par pompage continu [12], la génération de solitons convectifs [13], le ralentissement de la lumière [14]... L'utilisation de la SPDC en configuration contra-propagative est aussi d'un grand intérêt car le QAP très sélectif donnerait en théorie aux deux ondes une largeur spectrale très petite (< 10 pm d'après les simulations, soit mille fois moins qu'en co-propagatif).

Récemment a été reportée la réalisation d'un OPO utilisant le QAP contra-propagatif sur KTP [15], mais loin de la dégénérescence car la période d'inversion (800 nm) obtenue sur KTP est encore trop grande. Cette première mondiale a néanmoins suscité un regain d'intérêt sur le sujet.

2. VERS LES PPLN A COURTE PERIODE

La technique la plus utilisée pour la fabrication de PPLN est l'application d'une impulsion électrique par un réseau d'électrodes (technique dite « e-field ») [16]. Les périodes couramment

obtenues, en particulier au LPMC de Nice et au RAMTECH de Iasi, sont de l'ordre de $6\text{ }\mu\text{m}$ sur des galettes de 3 pouces de diamètre et $500\text{ }\mu\text{m}$ d'épaisseur. Des périodes de $3\text{ }\mu\text{m}$ ont aussi été obtenues sur des échantillons plus courts et plus fins [17]. Ces périodes permettent le QAP co-propagatif sur une très large gamme spectrale (400 - 4000nm). En contra-propagatif, les périodes requises sont de 200 à 400 nm, soit 15 fois moins. Pour atteindre de telles périodes, plusieurs techniques d'inversion de domaines ont été proposées : écriture directe par e-beam [18], application localisée à l'aide de pointes AFM [19], calligraphie [20] ou encore interférence d'ondes sur une résine photosensible suivie d'un poling en champ externe [21]. Pour l'instant aucune de ces techniques ne se révèle assez efficace dans la mesure où des domaines de qualité suffisante sont obtenus sur des zones de $1\text{ }\mu\text{m}^2$ au maximum. Les domaines submicroniques reportés à ce jour ne répondent pas encore aux critères d'uniformité [22], de dimension [23] ou de profondeur [24].

3. DES DEBOUCHES POTENTIELS AUSSI EN ELECTRO-OPTIQUE

L'application d'un champ électrique sur une structure ferroélectrique périodiquement polarisée crée un réseau d'indice utilisable pour diverses fonctions. La configuration la plus étudiée à ce jour est celle où le champ E est parallèle à l'axe y , ce qui permet de réaliser sur des PPLN de période standard ($22\text{ }\mu\text{m}$) des filtres Solc très sélectifs aux longueurs d'onde télécoms [25], des Q-switch [26] ou des convertisseurs TE/TM intégrés [27] à basse tension de commande (22 V). La configuration $E//z$, qui crée dans le PPLN un simple réseau de Bragg sans rotation des lignes neutres, n'a à notre connaissance pas fait l'objet d'études approfondies. La période requise pour réaliser un réflecteur de Bragg d'ordre 1 à 1550 nm sur un PPLN en configuration $E//z$ est actuellement inaccessible ($\sim 360\text{ nm}$), mais des applications très attractives sont envisageables sur des périodes de $2,5\text{ }\mu\text{m}$ (ordre 7). La sélectivité spectrale requise ($\sim 1\text{ nm}$) en multiplexage dense nécessitant des réseaux de Bragg d'environ 1500 périodes, on pourrait traiter jusqu'à 16 canaux DWDM dans un seul guide, sous des tensions de commande typiques de 10 à 100 V.

4. PROJET SOUTENU PAR LE RESEAU CMDO

Le LPMC (Nice) et le LMOPS (Metz) collaborent actuellement à la réalisation de démonstrateurs EO sur des PPLN de période standard ($6,1$ à $7,5\text{ }\mu\text{m}$), dans le cadre d'un projet soutenu par le CMDO. Nous proposons aussi différentes approches devant permettre de réaliser des PPLN à courte période ($\sim 2\text{ }\mu\text{m}$), d'abord sans guide puis avec guides.

RÉFÉRENCES

- ¹ J.A. Armstrong *et al.* « *Interactions between light waves...* », Phys. Rev. 127, p. 1918 (1962).
- ² J.A. Giordmaine *et al.* « *Tunable coherent parametric...* », Phys. Rev. Lett. 14, p. 973 (1965).
- ³ Voir « *Optical parametric oscillation...* », special issue J. of Opt. Soc. of America B 10 (1993).
- ⁴ P. Baldi *et al.* « *Nonlinear phase shift at 1.55 μm ...* », Electronics Letters 35, p. 217 (1999).
- ⁵ S. Tanzilli *et al.* « *Highly efficient photon-pair source...* », Electronics Letters 37, p. 26 (2001).
- ⁶ E. Lim *et al.* « *Second harmonic generation...* », Electronics Letters 25, p. 174 (1989).
- ⁷ S.E. Harris « *Proposed backward wave oscillation in the...* », Appl. Phys. Lett. 9, p. 114 (1966).
- ⁸ D.S. Chemla *et al.* « *Optical backward mixing in sodium nitrite* », Opt. Com. 11, p. 57 (1974).
- ⁹ D.S. Chemla *et al.* « *Optical backward parametric...* », Appl. Phys. Lett. 28, p. 135 (1976).
- ¹⁰ Y.J. Ding *et al.* « *Backward optical parametric...* », IEEE J. of Quan. Elec. 32, p. 1574 (1996).
- ¹¹ K. Gallo *et al.* « *Cascading phase shift and multivalued response in...* », Opt. Lett. 25, p. 966 (2000).
- ¹² G. D'Alessandro *et al.* « *Nonlinear dynamics...* », Phys. Rev. A, 55, p. 4 (1997).
- ¹³ C. Durniak *et al.* « *Temporal walk-off...* », J. Opt. B: Qu. Semiclass. Opt. 6, p. 241 (2004).
- ¹⁴ J.B. Khurgin « *Slowing and stopping photons using backward...* », Phys. Rev. A 72, 023810 (2005).
- ¹⁵ C. Canalias *et al.* « *Mirrorless optical parametric...* », Nature Photonics 1, p. 459 (2007).
- ¹⁶ J. Webjörn *et al.* « *Blue light generated...* », IEEE Pho. Tech. Lett. 1, p. 316 (1989).
- ¹⁷ R.G. Batchko *et al.* « *Backscattered poling in lithium niobate...* », Appl. Phys. Lett. 75, p. 1673 (1999).
- ¹⁸ C. Restoin *et al.* « *Electron-beam poling on Ti:LiNbO₃* », Appl. Opt. 40, p. 33 (2001).
- ¹⁹ S. Moscovich *et al.* « *Noncollinear second-harmonic generation in...* », Opt. Exp. 12, 10 (2004).
- ²⁰ M. Mohageg *et al.* « *Calligraphic poling of Lithium Niobate* », Opt. Exp. 13, 9 (2005).
- ²¹ A.C. Busacca *et al.* « *Surface domain engineering in...* », Appl. Phys. Lett. 81, p. 4946 (2002).
- ²² A.C. Busacca *et al.* « *Nano-domains definition in congruent...* », Proc. 12th ECIO, Grenoble (2005).
- ²³ V.Ya. Shur *et al.* « *Nanoscale Domain Effects in Ferro...* », Ferroelectrics 354, p. 145 (2007).
- ²⁴ K. Terabe *et al.* « *Domain and surface structuring on LiNbO₃...* », Ferroelectrics 340, p. 121 (2006).
- ²⁵ Y.Q. Lu *et al.* « *Electro-optic effect...* », Appl. Phys. Lett. 77 (23), 3719 (2000).
- ²⁶ Y.H. Chen *et al.* « *Actively Q-switched Nd:YVO₄ laser...* », Opt. Lett. 28, 1460-1462 (2003).
- ²⁷ C.Y. Huang *et al.* « *Electro-optic...* », Optics Express 15 (5), 2548-2554 (2007).